

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームト [*] (参考)
H 0 1 F 41/26		H 0 1 F 41/26	5 D 0 3 3
G 1 1 B 5/31		G 1 1 B 5/31	C 5 E 0 4 9
H 0 1 F 10/14		H 0 1 F 10/14	

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平10-220011

(22) 出願日 平成10年8月4日 (1998.8.4)

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号

(72) 発明者 竹房 さなえ

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

(74) 代理人 100087479

弁理士 北野 好人

Fターム (参考) 5D033 BA03 DA04

5E049 AA07 AA09 BA12 BA14 LC02

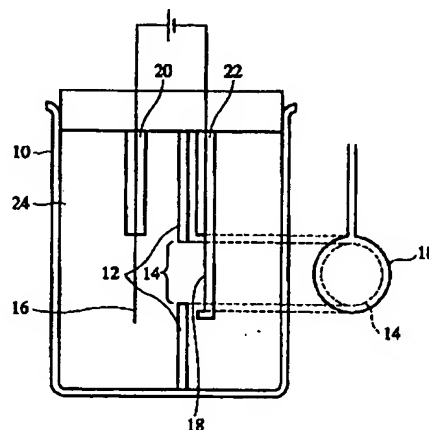
(54) 【発明の名称】 磁性薄膜及びその形成方法

(57) 【要約】

【課題】 比抵抗値が高く、良好な磁気特性を有する磁性薄膜及びその形成方法を提供する。

【解決手段】 NiイオンとFeイオンとMoイオンと有機酸とを含むめっき浴を用いて、導電膜上に電気めっき法により磁性薄膜を形成する磁性薄膜の形成方法であって、めっき浴中の有機酸の濃度が、めっき浴中のMoイオンの濃度の3～20倍である。

電気メッキ用のセルを示す概略図



- 10…容器
- 12…蓋板
- 14…孔
- 16…アノード
- 18…カソード
- 20…アノード支持治具
- 22…カソード支持治具
- 24…めっき浴

【特許請求の範囲】

【請求項1】 NiイオンとFeイオンとMoイオンと有機酸とを含むめっき浴を用いて、導電膜上に電気めっき法により磁性薄膜を形成する磁性薄膜の形成方法であって、

前記めっき浴中の前記有機酸の濃度が、前記めっき浴中の前記Moイオンの濃度の3～20倍であることを特徴とする磁性薄膜の形成方法。

【請求項2】 請求項1記載の磁性薄膜の形成方法において、

前記有機酸は、オキシカルボン酸又はオキシカルボン酸の塩であることを特徴とする磁性薄膜の形成方法。

【請求項3】 請求項1又は2記載の磁性薄膜の形成方法において、

前記めっき浴中の前記有機酸の濃度は0.001mol/l以上であることを特徴とする磁性薄膜の形成方法。

【請求項4】 請求項3記載の磁性薄膜の形成方法において、

前記めっき浴中の前記有機酸の濃度は0.005mol/l以上であることを特徴とする磁性薄膜の形成方法。

【請求項5】 NiイオンとFeイオンとMoイオンと有機酸とを含むめっき浴を用いて、導電膜上に電気めっき法により形成された磁性薄膜であって、

前記めっき浴中の前記有機酸の濃度を、前記めっき浴中の前記Moイオンの濃度の3～20倍として形成され、1～5atomic%のMoを含むことを特徴とする磁性薄膜。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、磁性薄膜及びその形成方法に係り、特に高い比抵抗値を有する磁性薄膜及びその形成方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来より、薄膜磁気ヘッド、薄膜トランス、薄膜インダクタ等の薄膜磁気デバイス用の磁気コアとして、軟磁気特性の優れた磁性薄膜が用いられている。特に、パーマロイ（鉄ニッケル合金）より成る磁性薄膜は、透磁率が高く、軟磁気特性に優れ、磁歪も小さいことから、ハードディスク装置の記録ヘッドの上部磁気コア等に広く用いられている。

【0003】 しかし、パーマロイより成る磁性薄膜は、比抵抗値が約20 $\mu\Omega\text{cm}$ と低いため、数10MHz以上の高周波磁界に対して渦電流による損失が大きくなり、良好な高周波特性を得ることが困難であった。そこで、パーマロイにMo（モリブデン）を混入することにより、比抵抗値の高い磁性薄膜を形成する技術が提案されている。

【0004】 例えば、特開平7-122426号公報においては、Mo混入量が多く比抵抗値の高い層と、Mo混入量が少ない層とを順次成膜することにより形成され

た多層膜が開示されており、かかる多層膜は軟磁気特性に優れている旨が記載されている。この多層膜は、Moイオンが添加されたパーマロイ浴を用いた電気めっき法により形成され、磁性薄膜中のMo混入量は電流密度を変化させることにより調整されている。なお、磁性薄膜中のMo混入量を大きく変化させるべく、パーマロイ浴に酒石酸を添加する旨が記載されている。

【0005】 また、特開平9-63016号公報においては、モリブデン、クロム、及びタングステンを含むパーマロイより成る磁性薄膜が開示されており、かかる磁性薄膜は飽和磁束密度Bsが1.5テスラ（T）以上、保磁力Hcが1.0エルステッド（Oe）以下、比抵抗値が40 $\mu\Omega\text{cm}$ 以上である旨が記載されている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、特開平7-122426号公報や特開平9-63016号公報には、磁性薄膜中へのMo混入量を如何に適正に制御するかについては一切開示されていなかった。パーマロイより成る磁性薄膜の磁気特性は、Mo混入量により大きく変化してしまう傾向があるため、Mo混入量を適正に制御する技術の確立は非常に重要である。

【0007】 本発明の目的は、比抵抗値が高く、良好な磁気特性を有する磁性薄膜及びその形成方法を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】 上記目的は、NiイオンとFeイオンとMoイオンと有機酸とを含むめっき浴を用いて、導電膜上に電気めっき法により磁性薄膜を形成する磁性薄膜の形成方法であって、前記めっき浴中の前記有機酸の濃度が、前記めっき浴中の前記Moイオンの濃度の3～20倍であることを特徴とする磁性薄膜の形成方法により達成される。これにより、めっき浴中のMoイオン濃度に対するめっき浴中の有機酸濃度を適切な値に設定するので、磁性薄膜中のMo混入量を適切な値に設定することができ、比抵抗値が高く、良好な磁気特性を有する磁性薄膜を形成することができる。

【0009】 また、上記の磁性薄膜の形成方法において、前記有機酸は、オキシカルボン酸又はオキシカルボン酸の塩であることが望ましい。また、上記の磁性薄膜の形成方法において、前記めっき浴中の前記有機酸の濃度は0.001mol/l以上であることが望ましい。また、上記の磁性薄膜の形成方法において、前記めっき浴中の前記有機酸の濃度は0.005mol/l以上であることが望ましい。これにより、磁性薄膜中へのMo混入量を安定的に設定することができる。

【0010】 また、上記目的は、NiイオンとFeイオンとMoイオンと有機酸とを含むめっき浴を用いて、導電膜上に電気めっき法により形成された磁性薄膜であって、前記めっき浴中の前記有機酸の濃度を、前記めっき浴中の前記Moイオンの濃度の3～20倍として形成さ

れ、1～5 atomic%のMoを含むことを特徴とする磁性薄膜により達成される。これにより、磁性薄膜中に1～5 atomic%のMoが含まれているので、比抵抗値が高く、良好な磁気特性を有する磁性薄膜を提供することができる。

【0011】

【発明の実施の形態】本発明の一実施形態による磁性薄膜の形成方法を図1乃至図7を用いて説明する。図1は、電気メッキ用のセルを示す概略図である。図2は、電流密度と磁性薄膜中へのFe混入量との関係を示すグラフである。図3は、Moイオン濃度と磁性薄膜中へのMo混入量との関係を示すグラフである。図4は、有機酸濃度をMoイオン濃度で除した値と、磁性薄膜中へのMo混入量との関係を示すグラフである。図5は、磁性薄膜中へのMo混入量と磁性薄膜の比抵抗値との関係を示すグラフである。図6は、磁性薄膜中へのMo混入量と磁性薄膜の飽和磁束密度 B_s との関係を示すグラフである。図7は、磁性薄膜中へのMo混入量と磁性薄膜の耐食性との関係を示すグラフである。

【0012】本実施形態による磁性薄膜の形成方法は、NiイオンとFeイオンとMoイオンと有機酸とを含むめっき浴を用いて、導電膜上に電気めっき法により磁性薄膜を形成するものであって、めっき浴中の有機酸濃度をめっき浴中のMoイオン濃度の約3～20倍程度に設定することにより、比抵抗値が高く、良好な磁気特性を有する磁性薄膜を形成することを主な特徴とするものである。

【0013】まず、電気めっき法により導電膜上に磁性薄膜を形成する方法について図1を用いて説明する。図1は、電気メッキ用のセルを示す概略図である。図1において、紙面右側の図は、遮蔽板の孔とカソードとの位置関係を示すための図であり、紙面左側の図に示したセルを紙面右側から見た場合のものである。図1に示すように、容器10内には、プラスチックの遮蔽板12が設けられており、遮蔽板12には円形の孔14が形成されている。容器10内の紙面左側には円盤状のアノード16が設けられており、紙面右側には円盤状のカソード18が設けられており、これらアノード16とカソード18とは、遮蔽板12に形成された孔14を介して対向している。また、アノード16はアノード支持治具20により支持されており、カソード18はカソード支持治具22により支持されている。

【0014】アノード16には、例えばNi板が用いられる。また、図1では、便宜上、カソード18をアノードと同様の形状で図示したが、実際のデバイスを製造するにあたっては、磁性薄膜を形成するための下地となる導電膜等がカソードに該当することとなる。かかる導電膜としては、例えば、Niが75～85 atomic%、Feが15～25 atomic%の二元合金薄膜等を用いることができる。

【0015】容器10内は、めっき浴24で満たされており、アノード16を電源のプラス側、カソード18を電源のマイナス側に接続すると、電流がめっき浴24中を遮蔽板12の孔14を介して流れる。アノード16とカソード18とが円盤状であり、また、遮蔽板12に形成された孔14も円形であるため、アノード16とカソード18との間のめっき浴24には、ほぼ均一な電流密度の電流が流れることとなる。

【0016】こうして、カソード18の表面に、パーマロイより成る磁性薄膜が形成されることとなる。

(電流密度) 遮蔽板12に形成された孔14を介してアノード16とカソード18との間のめっき浴24に流れる電流の電流密度は、例えば、10～15 mA/cm²の範囲に設定することができる。

【0017】図2は、適切な電流密度を求めるべく、電流密度と磁性薄膜中へのFe混入量との関係を測定したものである。図2の横軸はアノードとカソードとの間のめっき浴に流れる電流の電流密度を示しており、縦軸は磁性薄膜中へのFe混入量を示している。図2から分かるように、電流密度が10～15 mA/cm²の範囲において、磁性薄膜中のFe混入量は約18 atomic%とほぼ一定となっている。従って、電流密度を10～15 mA/cm²の範囲で設定すれば、組成が安定した磁性薄膜を形成することが可能となる。なお、電流密度は、必ずしも10～15 mA/cm²の範囲に設定することによって限定されるものではなく、所望の組成の磁性薄膜が得られるよう適宜設定することができる。

【0018】(めっき浴)めっき浴としては、パーマロイを形成することができるめっき浴、例えば、Burns-Warner浴、Wolf浴、低濃度浴等を用いることができる。Burns-Warner浴は、Bell研究所のR. M. BurnsとC. W. Warnerとにより提案された硫酸塩-塩化物系のめっき浴であり、Ni混入量約80%のパーマロイより成る磁性薄膜を形成することができるものである。めっき条件は、例えば、硫酸ニッケルを212 g/l、硫酸鉄(II)を22 g/l、塩化ニッケルを18 g/l、塩化鉄(II)を2.5 g/l、ホウ酸を25 g/l、硫酸ナトリウムを180 g/l、温度を50℃とすることができる。

【0019】Wolf浴は、磁気異方性を有するパーマロイを形成するために磁界中でめっきを行う硫酸塩-塩化物系のめっき浴であり、膜応力を減少させるためにサッカリンが添加されているめっき浴である(I. W. Wolf, J. Appl. Phys. 33, 1152, 1962)。めっき条件は、例えば、硫酸ニッケルを293 g/l、硫酸鉄(II)を6.2 g/l、サウリル硫酸ナトリウムを0.42 g/l、塩化ナトリウムを9.7 g/l、ホウ酸を25 g/l、濃硫酸を14 ml/l、サッカリンを0.5 g/lとすることができる。

【0020】低濃度浴は、N. C. アンダーソン、C. グルーバーにより提案された硫酸塩-塩化物浴であり、金属イ

オンの濃度が低いめっき浴である(特開昭57-10191号公報)。めっき条件は、例えば、塩化ニッケルを35.3g/l、硫酸ニッケルを14.7g/l、硫酸鉄(II)を1.2g/l、ホウ酸を25g/l、サッカリンを0.75g/l、酸化ナトリウムを25g/l、温度を23℃とすることができる。

【0021】なお、Burns-Warner浴、Wolf浴、低濃度浴のめっき条件は、上記に限定されるものではなく、Burns-Warner浴、Wolf浴、低濃度浴の基本的な特性を確保することができる範囲内でめっき条件を適宜変更してもよい。また、めっき浴は、Burns-Warner浴、Wolf浴、低濃度浴に限定されるものではなく、パーマロイより成る磁性薄膜を形成することができるめっき浴であれば、あらゆるめっき浴を用いることができる。

【0022】(Mo供給源)めっき浴にMoイオンを添加ため、めっき浴中にMo供給源を添加する。Mo供給源としては、例えば、モリブデン酸ナトリウム、モリブデン酸アンモニウム等を用いることができる。

(有機酸)めっき浴中に添加する有機酸としては、例えば、オキシカルボン酸又はオキシカルボン酸の塩を用いることができる。

【0023】オキシカルボン酸としては、例えば、酒石酸、乳酸等を用いることができ、オキシカルボン酸の塩としては、例えば、酒石酸ナトリウム、ロッシェル塩、乳酸ナトリウム、リンゴ酸ナトリウム等を用いることができる。めっき浴に添加する有機酸の濃度は、下記に示す理由から、例えば0.001mol/l以上とすることができ、望ましくは0.005mol/l以上、更に望ましくは0.01mol/l以上とすることができる。

【0024】図3は、有機酸の添加量の適正値を求めるべく、有機酸を添加しない場合、有機酸濃度を0.01mol/lとした場合、有機酸濃度を0.02mol/lとした場合のそれぞれについて、Moイオン濃度に対する磁性薄膜中のMo混入量を測定したものである。図3の横軸はめっき浴中のMoイオン濃度を示しており、縦軸は磁性薄膜中のMo混入量を示している。

【0025】図3から分かるように、有機酸を添加しない場合には、Moイオン濃度がわずかに変化しただけで磁性薄膜中のMo混入量が急激に増加してしまう。即ち、Moイオン濃度の変化に対する磁性薄膜中のMo混入量の変化率が極めて大きい。これに対し、有機酸濃度を0.01mol/lとした場合には、Moイオン濃度の変化に対する磁性薄膜中のMo混入量の変化率が、有機酸を添加しない場合に比べて小さくなっている。

【0026】更に、有機酸濃度を0.02mol/lとした場合には、Moイオン濃度の変化に対する磁性薄膜中のMo混入量の変化率は更に小さくなっている。このように、めっき浴中に添加された有機酸濃度が高いほど、Moイオン濃度の変化に対する磁性薄膜中のMo混

入量の変化率は小さくなる傾向がある。後述する比抵抗値、飽和磁束密度Bs、耐食性等を総合的に考慮すると、磁性薄膜中のMo混入量は1~5atomic%とすることが望ましく、図3からわかるように、有機酸濃度が高いほど安定的に磁性薄膜中のMo混入量を1~5atomic%とすることができる。

【0027】従って、有機酸濃度は、望ましくは0.005mol/l以上、更に望ましくは0.01mol/l以上とすればよい。これにより、少量のMoを磁性薄膜中に安定的に混入することが可能となる。なお、有機酸濃度は0.005mol/l以上に限定されるものではなく、少なくともめっき浴に有機酸が添加されていればよい。従って、例えば、有機酸濃度を0.001mol/l以上としてもよいし、更に有機酸濃度が低くてもよい。有機酸濃度を0.001mol/l程度と低い場合には、Moイオン濃度の変化に対する磁性薄膜中のMo混入量の変化は大きくなってしまいが、磁性薄膜中のMo混入量が所望の値となるようにMoイオン濃度を適宜設定すれば、少量のMoを磁性薄膜中に混入することは可能である。

【0028】また、図3から分かるように、めっき浴中の有機酸濃度が高くなるに伴って磁性薄膜中のMo混入量が減少し、また、めっき浴中のMoイオン濃度が高くなるに伴って磁性薄膜中のMo混入量が増加する。このことから、Moイオン濃度に対する有機酸濃度が磁性薄膜中のMo混入量に大きな影響を及ぼすと考えられる。

【0029】(Moイオン濃度に対する有機酸濃度) Moイオン濃度に対する有機酸濃度は、下記に示す理由から、例えば3~20倍とすることができる。図4は、めっき浴中のMoイオン濃度に対する有機酸濃度の適正値を求めるべく、有機酸濃度をMoイオン濃度で除した値と、磁性薄膜中のMo混入量との関係を測定したものである。図4の横軸は、めっき浴中の有機酸濃度をめっき浴中のMoイオン濃度で除算した値を示しており、縦軸は磁性薄膜中のMo混入量を示している。

【0030】後述する比抵抗値、飽和磁束密度Bs、耐食性等を総合的に考慮すると、磁性薄膜中のMo混入量は1~5atomic%とすることが望ましく、図4からわかるように、有機酸濃度をMoイオン濃度の3~20倍の範囲内に設定すれば、磁性薄膜中のMo混入量を1~5atomic%以下とすることができる。

(比抵抗値)磁性薄膜中のMo混入量に対する磁性薄膜の比抵抗値について図5を用いて説明する。図5は、磁性薄膜中のMo混入量に対する磁性薄膜の比抵抗値を示すグラフである。図5の横軸は磁性薄膜中のMo混入量を示しており、縦軸は磁性薄膜の比抵抗値を示している。

【0031】図5から分かるように、比抵抗値は磁性薄膜中のMo混入量に対してほぼ直線的に変化しており、

上記のようにして磁性薄膜中のMo混入量を適宜設定することにより所望の比抵抗値の磁性薄膜を得ることができる。図5から分かるように、例えば、磁性薄膜中へのMo混入量を1~5 atomic%とすれば、比抵抗値を約20~100 $\mu\Omega\text{cm}$ とすることができる。

【0032】なお、比抵抗値は磁性薄膜中のMo混入量にほぼ比例するため、磁性薄膜中のMo混入量を増加させることにより更に磁性薄膜の比抵抗値を高くすることも考えられるが、後述するように磁性薄膜中のMo混入量が大きくなると飽和磁束密度Bsが低下し、また、磁性薄膜の耐食性が低下してしまうこととなる。従って、所望の飽和磁束密度Bsや、所望の耐食性が得られる範囲内で、磁性薄膜中へのMo混入量を適宜設定することが望ましい。

【0033】(飽和磁束密度) 磁性薄膜中へのMo混入量と磁性薄膜の飽和磁束密度Bsとの関係について図6を用いて説明する。図6は、磁性薄膜中へのMo混入量と磁性薄膜の飽和磁束密度Bsとの関係を示すグラフである。図6の横軸は磁性薄膜中のMo混入量を示しており、縦軸は磁性薄膜の飽和磁束密度Bsを示している。

【0034】図6から分かるように、磁性薄膜中へのMo混入量を1~5 atomic%とすれば、約0.9 (T) と高い飽和磁束密度Bsを有する磁性薄膜を形成することが可能となる。なお、磁性薄膜中へのMo混入量は、必ずしも1~5 atomic%に限定されるものではなく、所望の飽和磁束密度Bsが得られる範囲内で適宜設定することができる。

【0035】(耐食性) 磁性薄膜中へのMo混入量と磁性薄膜の耐食性との関係について図7を用いて説明する。図7は、磁性薄膜中へのMo混入量と磁性薄膜の耐食性との関係を示すグラフである。図7の横軸は磁性薄膜中のMo混入量を示しており、縦軸は磁性薄膜の耐食性を示している。磁性薄膜の耐食性はアノード分極法により測定した孔食電位により評価したものである。アノード分極法とは、塩化ナトリウム等の溶液中に、供試体、即ち磁性薄膜をアノードとして、カソードと対向するように配置し、アノード-カソード間に電圧を加えたときの電流-電圧特性を測定することにより供試体の特性を測定する方法である。ここで、孔食電位とは、電源電圧を徐々に大きくしていったときに一時的に電流-電圧特性が平坦になった後、急激に電流値が増大しはじめる電位のことをいう。従って、孔食電位が高いほど、耐食性が高いこととなる。なお、図7の縦軸は、Moが混入されていないパーマロイより成る磁性薄膜の孔食電位を1とした場合における、相対的な孔食電位を示したものである。

【0036】図7から分かるように、磁性薄膜中へのMo混入量を1~5 atomic%の範囲内とすれば、耐食性は約1.0とすることができる。即ち、Moが混入されていないパーマロイより成る磁性薄膜とほぼ等しい耐食性

を得ることができる。なお、磁性薄膜中へのMo混入量は、必ずしも1~5 atomic%に限定されるものではなく、所望の耐食性が得られる範囲内で適宜設定することができる。

【0037】また、磁性薄膜中へのMo混入量が1~5 atomic%の範囲内では、保磁力Hcは1 (Oe) 以下、磁歪は 2×10^{-6} 以下、即ち、Moが混入されていないパーマロイより成る磁性薄膜とほぼ同等の磁気特性を得ることができる。このように、本実施形態によれば、めっき浴中のMoイオン濃度に対するめっき浴中の有機酸濃度を適切な値に設定することにより、磁性薄膜中のMo混入量を適切な値に設定することができるので、比抵抗値が高く、良好な磁気特性を有する磁性薄膜を形成することができる。

【0038】[変形実施形態] 本発明は上記実施形態に限らず種々の変形が可能である。例えば、上記実施形態では、パーマロイより成る磁性薄膜にMoを混入する場合を例に説明したが、混入する物質はMoに限定されるものではなく、W (タングステン) やCr等を混入する場合にも適用することができる。

【0039】

【発明の効果】以上の通り、本発明によれば、めっき浴中のMoイオン濃度に対するめっき浴中の有機酸濃度を適切な値に設定することにより、磁性薄膜中のMo混入量を適切な値に設定することができるので、比抵抗値が高く、良好な磁気特性を有する磁性薄膜を形成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】電気メッキ用のセルを示す概略図である。

【図2】電流密度と磁性薄膜中へのFe混入量との関係を示すグラフである。

【図3】めっき浴中のMoイオン濃度と磁性薄膜中へのMo混入量との関係を示すグラフである。

【図4】有機酸濃度をMoイオン濃度で除した値と、磁性薄膜中へのMo混入量との関係を示すグラフである。

【図5】磁性薄膜中へのMo混入量と磁性薄膜の比抵抗値との関係を示すグラフである。

【図6】磁性薄膜中へのMo混入量と磁性薄膜の飽和磁束密度Bsとの関係を示すグラフである。

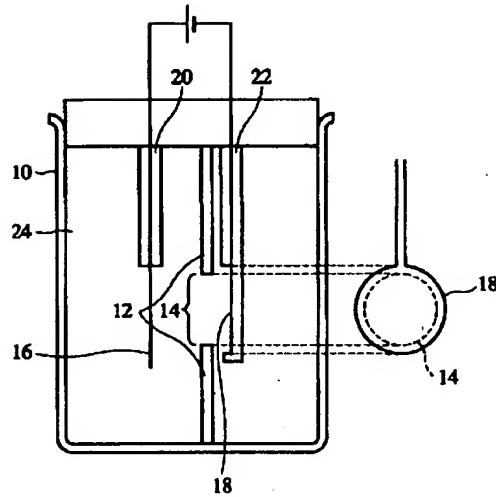
【図7】磁性薄膜中へのMo混入量と磁性薄膜の耐食性との関係を示すグラフである。

【符号の説明】

- 10…容器
- 12…遮蔽板
- 14…孔
- 16…アノード
- 18…カソード
- 20…アノード支持治具
- 22…カソード支持治具
- 24…めっき浴

【図1】

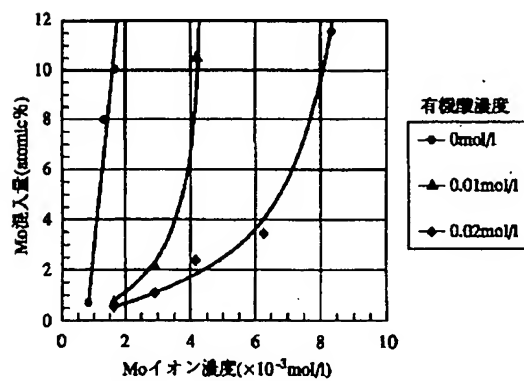
電気メッキ用のセルを示す概略図



- 10…容器
12…透膜板
14…孔
16…アノード
18…カソード
20…アノード支持治具
22…カソード支持治具
24…めっき浴

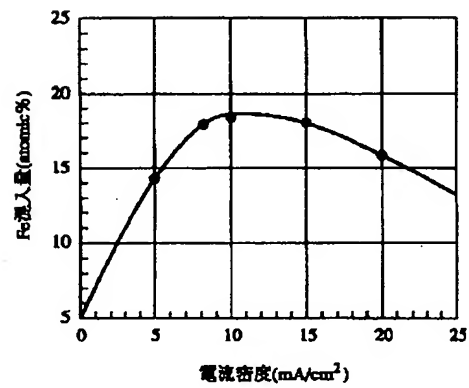
【図3】

めっき浴中のMoイオン濃度と磁性薄膜中へのMo混入量との関係を示すグラフ



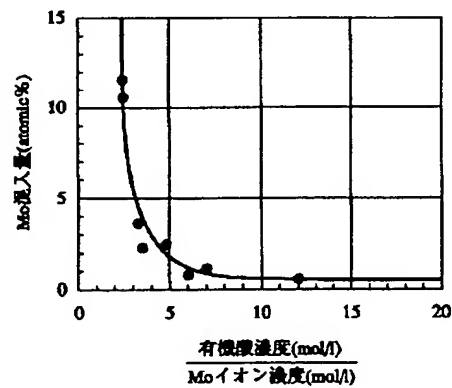
【図2】

電流密度と磁性薄膜中へのFe混入量との関係を示すグラフ



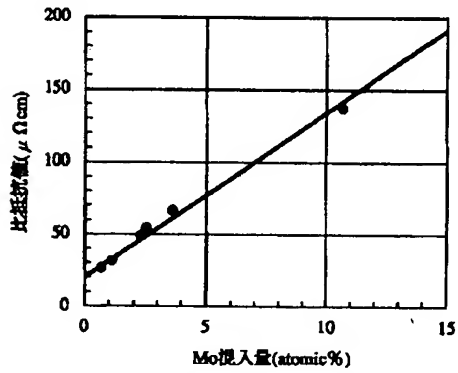
【図4】

有機酸濃度をMoイオン濃度で除した値と、磁性薄膜中へのMo混入量との関係を示すグラフ



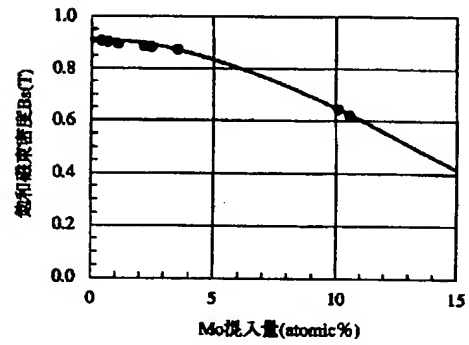
【図5】

磁性薄膜中へのMo混入量と磁性薄膜の比抵抗値との
関係を示すグラフ



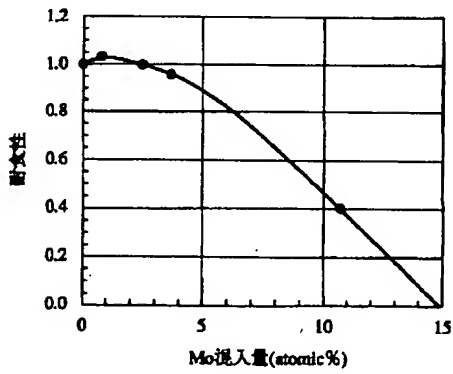
【図6】

磁性薄膜中へのMo混入量と磁性薄膜の
飽和磁束密度Bsとの関係を示すグラフ



【図7】

磁性薄膜中へのMo混入量と磁性薄膜の耐食性との
関係を示すグラフ



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-058364

(43)Date of publication of application : 25.02.2000

(51)Int.Cl.

H01F 41/26

G11B 5/31

H01F 10/14

(21)Application number : 10-220011

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 04.08.1998

(72)Inventor : TAKEFUSA SANAE

(54) MAGNETIC THIN FILM AND FORMING METHOD THEREOF

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a magnetic thin film with high resistivity value and satisfactory magnetic property by setting a concentration of organic acid at a specific value in a plating bath relative to the concentration of Mo ions in a plating bath.

SOLUTION: A method for forming a magnetic thin film, whereby a plating bath containing Ni ions, Fe ions, Mo ions, and an organic acid is used for forming the magnetic thin film on a conductive film by an electroplating method, sets the concentration of the organic acid to about 3 to 20 times larger than that of the Mo ions in the plating bath. Then, for adding Mo ions into the plating bath, a substance such as sodium molybdate and ammonium molybdate is added to the plating bath. Furthermore, a salt of hydroxyl carboxylic acid is adopted as the organic acid added to the plating bath. A substance such as tartaric acid and lactic acid is adopted as the hydroxy carboxylic acid, and a substance such as sodium tartar, Rochelle salt, sodium lactate, and malate sodium is adopted as the salt of the hydroxy carboxylic acid. Moreover, the concentration of the organic acid added to the plating bath is set at 0.001 mol/L or more.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

*** NOTICES ***

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] The formation method of the magnetic thin film characterized by being the formation method of the magnetic thin film which forms a magnetic thin film with electroplating on an electric conduction film, and the concentration of the aforementioned organic acid under aforementioned plating bath being 3 to 20 times the concentration of the aforementioned Mo ion under aforementioned plating bath using the plating bath containing nickel ion, Fe ion, Mo ion, and an organic acid.

[Claim 2] It is the formation method of the magnetic thin film characterized by the aforementioned organic acid being the salt of a hydroxy acid or a hydroxy acid in the formation method of a magnetic thin film according to claim 1.

[Claim 3] It is the formation method of the magnetic thin film characterized by the concentration of the aforementioned organic acid under aforementioned plating bath being [mol / 0.001 //l. / or more] in the formation method of a magnetic thin film according to claim 1 or 2.

[Claim 4] It is the formation method of the magnetic thin film characterized by the concentration of the aforementioned organic acid under aforementioned plating bath being 0.005 or more mol/l in the formation method of a magnetic thin film according to claim 3.

[Claim 5] The magnetic thin film characterized by being the magnetic thin film formed by electroplating on the electric conduction film, forming the concentration of the aforementioned organic acid under aforementioned plating bath using the plating bath containing nickel ion, Fe ion, Mo ion, and an organic acid as three to 20 times of the concentration of the aforementioned Mo ion under aforementioned plating bath, and including 1 - 5atomic% Mo.

[Translation done.]

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[The technical field to which invention belongs] this invention relates to a magnetic thin film and its formation method, and relates to the magnetic thin film which has high resistivity especially, and its formation method.

[0002]

[Description of the Prior Art] Conventionally, the magnetic thin film which was excellent in ***** is used as a magnetic core for thin film MAG devices, such as the thin film magnetic head, a thin film transformer, and a thin film inductor. Especially the magnetic thin film that consists of a permalloy (iron nickel alloy) has high permeability, is excellent in *****, and since a magnetostriction is also small, it is widely used for the up magnetic core of the recording head of a hard disk drive unit etc.

[0003] However, since the magnetic thin film which consists of a permalloy had resistivity as low as about 20 microhm-cm, it was difficult for loss by the eddy current to become large to RF magnetic field several 10MHz or more, and to acquire a good RF property. Then, the technology which forms the high magnetic thin film of resistivity is proposed by mixing Mo (molybdenum) in a permalloy.

[0004] For example, in JP,7-122426,A, the multilayer formed by forming a layer with few the high layers of resistivity and the amounts of Mo mixing with many amounts of Mo mixing one by one is indicated, and the purport this multilayer excels [purport] in ***** is indicated. This multilayer is formed by electroplating using the permalloy bath by which Mo ion was added, and the amount of Mo mixing in a magnetic thin film is adjusted by changing current density. In addition, the purport which adds a tartaric acid to a permalloy bath is indicated that the amount of Mo mixing in a magnetic thin film should be changed a lot.

[0005] Moreover, in JP,9-63016,A, the magnetic thin film which consists of the permalloy containing molybdenum, chromium, and a tungsten is indicated, and, as for this magnetic thin film, the purport below 1.0 oersteds (Oe) and whose resistivity coercive force Hc is 40 or more microhm-cm more than 1.5 tesla (T) for saturation magnetic flux density Bs is indicated.

[0006]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, about how the amount of Mo mixing to the inside of a magnetic thin film is controlled proper, it was indicated at all by neither JP,7-122426,A nor JP,9-63016,A. Since the magnetic properties of the magnetic thin film which consists of a permalloy tend to change with the amounts of Mo mixing a lot, establishment of the technology which controls the amount of Mo mixing proper is very important.

[0007] The purpose of this invention has high resistivity and it is to offer the magnetic thin film which has good magnetic properties, and its formation method.

[0008]

[Means for Solving the Problem] The above-mentioned purpose is the formation method of the magnetic thin film which forms a magnetic thin film with electroplating on an electric conduction film using the plating bath containing nickel ion, Fe ion, Mo ion, and an organic acid, and it is attained by the formation method of the magnetic thin film characterized by the concentration of

the aforementioned organic acid under aforementioned plating bath being 3 to 20 times the concentration of the aforementioned Mo ion under aforementioned plating bath. Thereby, since the organic-acid concentration under plating bath to Mo ion concentration under plating bath is set as a suitable value, the amount of Mo mixing in a magnetic thin film can be set as a suitable value, and resistivity is high and can form the magnetic thin film which has good magnetic properties.

[0009] Moreover, as for the aforementioned organic acid, in the formation method of the above-mentioned magnetic thin film, it is desirable that it is the salt of a hydroxy acid or a hydroxy acid. Moreover, as for the concentration of the aforementioned organic acid under aforementioned plating bath, in the formation method of the above-mentioned magnetic thin film, it is desirable that it is [mol / 0.001 //l. / or more]. Moreover, as for the concentration of the aforementioned organic acid under aforementioned plating bath, in the formation method of the above-mentioned magnetic thin film, it is desirable that it is [mol / 0.005 //l. / or more]. Thereby, the amount of Mo mixing to the inside of a magnetic thin film can be set up stably.

[0010] Moreover, using the plating bath containing nickel ion, Fe ion, Mo ion, and an organic acid, the above-mentioned purpose is the magnetic thin film formed by electroplating on the electric conduction film, and the concentration of the aforementioned organic acid under aforementioned plating bath is formed as three to 20 times of the concentration of the aforementioned Mo ion under aforementioned plating bath, and it is attained by the magnetic thin film characterized by including 1 - 5atomic% Mo. Thereby, since 1 - 5atomic% Mo is contained in the magnetic thin film, resistivity is high and can offer the magnetic thin film which has good magnetic properties.

[0011]

[Embodiments of the Invention] The formation method of the magnetic thin film by 1 operation form of this invention is explained using drawing 1 or drawing 7 . Drawing 1 is the schematic diagram showing the cell for electroplating. Drawing 2 is a graph which shows the relation between current density and the amount of Fe mixing to the inside of a magnetic thin film. Drawing 3 is a graph which shows the relation between Mo ion concentration and the amount of Mo mixing to the inside of a magnetic thin film. Drawing 4 is a graph which shows the relation between the value which ~~**~~(ed) organic-acid concentration by Mo ion concentration, and the amount of Mo mixing to the inside of a magnetic thin film. Drawing 5 is a graph which shows the relation between the amount of Mo mixing to the inside of a magnetic thin film, and the resistivity of a magnetic thin film. Drawing 6 is a graph which shows the relation between the amount of Mo mixing to the inside of a magnetic thin film, and the saturation magnetic flux density Bs of a magnetic thin film. Drawing 7 is a graph which shows the relation between the amount of Mo mixing to the inside of a magnetic thin film, and the corrosion resistance of a magnetic thin film.

[0012] By the formation method of the magnetic thin film by this operation form forming a magnetic thin film with electroplating on an electric conduction film using the plating bath containing nickel ion, Fe ion, Mo ion, and an organic acid, and setting the organic-acid concentration under plating bath as about about 3 to 20 times of Mo ion concentration under plating bath, resistivity is high and it is characterized [main] by forming the magnetic thin film which has good magnetic properties.

[0013] First, how to form a magnetic thin film on an electric conduction film with electroplating is explained using drawing 1 . Drawing 1 is the schematic diagram showing the cell for electroplating. In drawing 1 , drawing on the right-hand side of space is drawing for the physical relationship of the hole of a shield and a cathode being shown, and is a thing at the time of seeing the cell shown in the space chart on the left from space right-hand side. As shown in drawing 1 , the shield 12 of plastics is formed in the container 10, and the circular hole 14 is formed in the shield 12. The disk-like anode 16 is formed in the space left-hand side in a container 10, the disk-like cathode 18 is formed in space right-hand side, and these anodes 16 and the cathode 18 have countered through the hole 14 formed in the shield 12. Moreover, the anode 16 is supported by the anode support fixture 20, and the cathode 18 is supported by the cathode support fixture 22.

[0014] For example, nickel board is used for an anode 16. Moreover, in drawing 1 , for

convenience, although the cathode 18 was illustrated in the same configuration as an anode, in manufacturing an actual device, the electric conduction film used as the ground for forming a magnetic thin film etc. will correspond to a cathode. nickel can use and Fe can use a 15 – 25atomic% binary alloy thin film etc. 75 – 85atomic% as this electric conduction film, for example. [0015] If the inside of a container 10 is filled with the plating bath 24, and an anode 16 is connected to the plus side of a power supply and it connects a cathode 18 to the minus side of a power supply, current will flow under a plating bath 24 through the hole 14 of a shield 12. Since the hole 14 which an anode 16 and a cathode 18 are disks-like, and was formed in the shield 12 is also circular, the current of almost uniform current density will flow for the plating bath 24 between an anode 16 and a cathode 18.

[0016] In this way, the magnetic thin film which consists of a permalloy will be formed in the front face of a cathode 18.

(Current density) The current density of the current which flows to the plating bath 24 between an anode 16 and a cathode 18 through the hole 14 formed in the shield 12 can be set as the range of 10–15mA/cm².

[0017] Drawing 2 measures the relation between current density and the amount of Fe mixing to the inside of a magnetic thin film to ask for suitable current density. The horizontal axis of drawing 2 shows the current density of the current which flows to the plating bath between an anode and a cathode, and the vertical axis shows the amount of Fe mixing to the inside of a magnetic thin film. In the range of 10 – 15 mA/cm², the amount of Fe mixing in a magnetic thin film has current density almost fixed as about 18 atomic(s)% so that drawing 2 may show. Therefore, if current density is set up in the range of 10 – 15 mA/cm², it will become possible to form the magnetic thin film by which composition was stabilized. In addition, current density is not necessarily limited to setting it as the range of 10 – 15 mA/cm², and it can be suitably set up so that the magnetic thin film of desired composition may be obtained.

[0018] (Plating bath) As a plating bath, the plating bath which can form a permalloy, for example, a Burns–Warner bath, a Wolf bath, a low concentration bath, etc. can be used. A Burns–Warner bath is a plating bath of the sulfate–chloride system proposed by R.M.Burns of a Bell lab, and C.W.Warner, and can form the magnetic thin film which consists of the permalloy of 80% of nickel mixing ****, plating conditions — for example, a nickel sulfate — 212 g/l and an iron sulfate (II) — 25 g/l and a sodium sulfate can be made into 180 g/l, and temperature can be made [22 g/l and a nickel chloride / 18 g/l and ferric chloride (II)] into 50 degrees C for 2.5 g/l and a boric acid

[0019] A Wolf bath is a plating bath of the sulfate–chloride system which galvanizes in a magnetic field, in order to form the permalloy which has a magnetic anisotropy, and in order that it may decrease membrane stress, it is a plating bath by which saccharin is added (I. W.Wolf, J.Appl.Phys, 33, 1152, 1962). plating conditions — for example, a nickel sulfate — 293 g/l and an iron sulfate (II) — 25 g/l and a concentrated sulfuric acid can be made into 14 ml/l, and saccharin can be made [6.2 g/l and a SAURIRU sodium sulfate / 0.42 g/l and a sodium chloride] into 0.5 g/l for 9.7 g/l and a boric acid

[0020] A low concentration bath is a sulfate–chloride bath proposed by N.C. Anderson and C. groover, and is a plating bath with the low concentration of a metal ion (JP,57–10191,A). plating conditions — for example, a nickel chloride — 35.3 g/l and a nickel sulfate — 0.75 g/l and a sodium oxide can be made into 25 g/l, and temperature can be made [14.7 g/l and an iron sulfate (II) / 1.2 g/l and a boric acid] into 23 degrees C for 25 g/l and saccharin

[0021] In addition, the plating conditions of a Burns–Warner bath, a Wolf bath, and a low concentration bath are not limited above, and may change plating conditions suitably within limits which can secure the fundamental property of a Burns–Warner bath, a Wolf bath, and a low concentration bath. Moreover, a plating bath is not limited to a Burns–Warner bath, a Wolf bath, and a low concentration bath, and if it is a plating bath which can form the magnetic thin film which consists of a permalloy, all plating baths can be used for it.

[0022] (Mo source of supply) For an addition reason, Mo source of supply is added for Mo ion during a plating bath to a plating bath. As an Mo source of supply, a sodium molybdate, an ammonium molybdate, etc. can be used, for example.

(Organic acid) As an organic acid added during a plating bath, the salt of a hydroxy acid or a hydroxy acid can be used, for example.

[0023] As a hydroxy acid, a tartaric acid, a lactic acid, etc. can be used and the sodium tartrate, a Rochell salt, a sodium lactate, malic-acid sodium, etc. can be used as a salt of a hydroxy acid, for example. From the reason shown below, concentration of the organic acid added to a plating bath can be made into 0.001 or more mol/l, for example, and can be desirably made into 0.01 or more mol/l still more desirably 0.005 or more mol/l.

[0024] Drawing 3 measures the amount of Mo mixing to the inside of the magnetic thin film to Mo ion concentration about each at the time of carrying out organic-acid concentration in mol [0.02 //l.], when an organic acid is not added and organic-acid concentration is made into 0.01 mol/l to calculate the proper value of the addition of an organic acid. The horizontal axis of drawing 3 shows Mo ion concentration under plating bath, and the vertical axis shows the amount of Mo mixing to the inside of a magnetic thin film.

[0025] When not adding an organic acid so that drawing 3 may show, the amount of Mo mixing to the inside of a magnetic thin film will increase rapidly only by Mo ion concentration changing slightly. That is, the rate of change of the amount of Mo mixing to the inside of the magnetic thin film to change of Mo ion concentration is very large. On the other hand, when organic-acid concentration is made into 0.01 mol/l, the rate of change of the amount of Mo mixing in the magnetic thin film to change of Mo ion concentration is small compared with the case where an organic acid is not added.

[0026] Furthermore, when organic-acid concentration is made into 0.02 mol/l, the rate of change of the amount of Mo mixing in the magnetic thin film to change of Mo ion concentration is still smaller. Thus, the rate of change of the amount of Mo mixing in the magnetic thin film to change of Mo ion concentration tends to become small, so that the organic-acid concentration added during the plating bath is high. If the resistivity mentioned later, saturation magnetic flux density Bs, corrosion resistance, etc. are synthetically taken into consideration, it is desirable to make the amount of Mo mixing to the inside of a magnetic thin film into 1 - 5atomic%, and the amount of Mo mixing to the inside of a magnetic thin film can be made into 1 - 5atomic% so stably that organic-acid concentration is high so that drawing 3 may show.

[0027] Therefore, what is necessary is just to make still more desirable desirably 0.005 or more mol/l of organic-acid concentration in mol [0.01 //l. / or more]. It enables this to mix little Mo stably into a magnetic thin film. In addition, organic-acid concentration is not limited to 0.005 or more mol/l, and the organic acid should just be added by the plating bath at least. It may follow, for example, may be good also considering organic-acid concentration as 0.001 or more mol/l, and organic-acid concentration may be still lower. It is possible to mix little Mo into a magnetic thin film, if Mo ion concentration is suitably set up so that the amount of Mo mixing to the inside of a magnetic thin film may serve as a desired value in organic-acid concentration, although change of the amount of Mo mixing in a magnetic thin film [as opposed to / mol / 0.001 //about l, and when low / change of Mo ion concentration] will become large.

[0028] Moreover, the organic-acid concentration under plating bath follows on becoming high, and the amount of Mo mixing to the inside of a magnetic thin film decreases, and Mo ion concentration under plating bath follows on becoming high, and the amount of Mo mixing in a magnetic thin film increases so that drawing 3 may show. From this, the organic-acid concentration to Mo ion concentration is considered to have big influence on the amount of Mo mixing in a magnetic thin film.

[0029] (Organic-acid concentration to Mo ion concentration) Organic-acid concentration to Mo ion concentration can be made into three to 20 times from the reason shown below, for example. Drawing 4 measures the relation between the value which ~~**~~(ed) organic-acid concentration by Mo ion concentration, and the amount of Mo mixing to the inside of a magnetic thin film to calculate the proper value of the organic-acid concentration to Mo ion concentration under plating bath. The horizontal axis of drawing 4 shows the value which carried out the division of the organic-acid concentration under plating bath by Mo ion concentration under plating bath, and the vertical axis shows the amount of Mo mixing to the inside of a magnetic thin film.

[0030] If the resistivity mentioned later, saturation magnetic flux density Bs, corrosion

resistance, etc. are synthetically taken into consideration, it is desirable to make the amount of Mo mixing to the inside of a magnetic thin film into 1 – 5atomic%, and if organic-acid concentration is set up within the limits of three to 20 times of Mo ion concentration so that drawing 4 may show, the amount of Mo mixing in a magnetic thin film can be made into less than [1–5atomic%].

(Resistivity) The resistivity of the magnetic thin film to the amount of Mo mixing to the inside of a magnetic thin film is explained using drawing 5 . Drawing 5 is a graph which shows the resistivity of the magnetic thin film to the amount of Mo mixing to the inside of a magnetic thin film. The horizontal axis of drawing 5 shows the amount of Mo mixing to the inside of a magnetic thin film, and the vertical axis shows the resistivity of a magnetic thin film.

[0031] Resistivity is changing almost linearly to the amount of Mo mixing in a magnetic thin film, and can obtain the magnetic thin film of desired resistivity by setting up suitably the amount of Mo mixing in a magnetic thin film as mentioned above so that drawing 5 may show. 1 – 5atomic%, then resistivity can be set to about 20 to 100 microomegacm for the amount of Mo mixing to the inside of a magnetic thin film so that drawing 5 may show.

[0032] In addition, since resistivity is proportional to the amount of Mo mixing in a magnetic thin film mostly, although making resistivity of a magnetic thin film high further by making the amount of Mo mixing in a magnetic thin film increase is also considered, when the amount of Mo mixing in a magnetic thin film becomes large so that it may mention later, saturation magnetic flux density B_s will fall, and the corrosion resistance of a magnetic thin film will fall. Therefore, it is desirable to set up suitably the amount of Mo mixing to the inside of a magnetic thin film within limits from which the desired saturation magnetic flux density B_s and desired corrosion resistance are acquired.

[0033] (Saturation magnetic flux density) The relation between the amount of Mo mixing to the inside of a magnetic thin film and the saturation magnetic flux density B_s of a magnetic thin film is explained using drawing 6 . Drawing 6 is a graph which shows the relation between the amount of Mo mixing to the inside of a magnetic thin film, and the saturation magnetic flux density B_s of a magnetic thin film. The horizontal axis of drawing 6 shows the amount of Mo mixing in a magnetic thin film, and the vertical axis shows the saturation magnetic flux density B_s of a magnetic thin film.

[0034] It becomes possible to form the magnetic thin film which has 1 – 5atomic%, then about 0.9 (T) and the high saturation magnetic flux density B_s for the amount of Mo mixing to the inside of a magnetic thin film so that drawing 6 may show. In addition, the amount of Mo mixing to the inside of a magnetic thin film is not necessarily limited to 1 – 5atomic%, and can be suitably set up within limits from which the desired saturation magnetic flux density B_s is obtained.

[0035] (Corrosion resistance) The relation between the amount of Mo mixing to the inside of a magnetic thin film and the corrosion resistance of a magnetic thin film is explained using drawing 7 . Drawing 7 is a graph which shows the relation between the amount of Mo mixing to the inside of a magnetic thin film, and the corrosion resistance of a magnetic thin film. The horizontal axis of drawing 7 shows the amount of Mo mixing in a magnetic thin film, and the vertical axis shows the corrosion resistance of a magnetic thin film. The pitting potential measured by the anode polarization method estimates the corrosion resistance of a magnetic thin film. An anode polarization method is the method of measuring the property of a test piece by measuring the current-voltage characteristic when having arranged by having used the test piece, i.e., a magnetic thin film, as the anode, so that it may counter with a cathode, and applying voltage between anode-cathodes into solutions, such as a sodium chloride. Here, pitting potential means the potential to which current value begins to increase rapidly, after the current-voltage characteristic becomes flat temporarily, when supply voltage is enlarged gradually. Therefore, corrosion resistance will be high, so that pitting potential is high. In addition, the vertical axis of drawing 7 shows the relative pitting potential at the time of setting to 1 pitting potential of the magnetic thin film which consists of the permalloy in which Mo is not mixed.

[0036] 1 – 5atomic% of within the limits, then corrosion resistance can set the amount of Mo mixing to the inside of a magnetic thin film to about 1.0 so that drawing 7 may show. That is, corrosion resistance almost equal to the magnetic thin film which consists of the permalloy in

which Mo is not mixed can be acquired. In addition, the amount of Mo mixing to the inside of a magnetic thin film is not necessarily limited to 1 - 5atomic%, and can be suitably set up within limits from which desired corrosion resistance is acquired.

[0037] Moreover, in within the limits whose amount of Mo mixing to the inside of a magnetic thin film is 1 - 5atomic%, coercive force H_c can obtain magnetic properties with a magnetostriction almost equivalent to the magnetic thin film which consists or less of 2×10 to six, i.e., the permalloy in which Mo is not mixed, below 1 (Oe). Thus, since the amount of Mo mixing in a magnetic thin film can be set as a suitable value by setting the organic-acid concentration under plating bath to Mo ion concentration under plating bath as a suitable value according to this operation gestalt, resistivity is high and can form the magnetic thin film which has good magnetic properties.

[0038] Not only the above-mentioned operation gestalt but various deformation is possible for a [deformation implementation gestalt] this invention. For example, although the above-mentioned operation gestalt explained the case where Mo was mixed in the magnetic thin film which consists of a permalloy to the example, the matter to mix is not limited to Mo, and when mixing W (tungsten), Cr, etc., it can be applied.

[0039]

[Effect of the Invention] Since the amount of Mo mixing in a magnetic thin film can be set as a suitable value by setting the organic-acid concentration under plating bath to Mo ion concentration under plating bath as a suitable value according to this invention the above passage, resistivity is high and can form the magnetic thin film which has good magnetic properties.

[Translation done.]

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the schematic diagram showing the cell for electroplating.

[Drawing 2] It is the graph which shows the relation between current density and the amount of Fe mixing to the inside of a magnetic thin film.

[Drawing 3] It is the graph which shows the relation between Mo ion concentration under plating bath, and the amount of Mo mixing to the inside of a magnetic thin film.

[Drawing 4] It is the graph which shows the relation between the value which *(ed) organic-acid concentration by Mo ion concentration, and the amount of Mo mixing to the inside of a magnetic thin film.

[Drawing 5] It is the graph which shows the relation between the amount of Mo mixing to the inside of a magnetic thin film, and the resistivity of a magnetic thin film.

[Drawing 6] It is the graph which shows the relation between the amount of Mo mixing to the inside of a magnetic thin film, and the saturation magnetic flux density Bs of a magnetic thin film.

[Drawing 7] It is the graph which shows the relation between the amount of Mo mixing to the inside of a magnetic thin film; and the corrosion resistance of a magnetic thin film.

[Description of Notations]

- 10 -- Container
- 12 -- Shield
- 14 -- Hole
- 16 -- Anode
- 18 -- Cathode
- 20 -- Anode support fixture
- 22 -- Cathode support fixture
- 24 -- Plating bath

[Translation done.]